

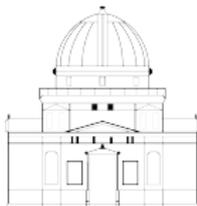
# Introduction à la réduction de données en astronomie

*Application avec IRAF*

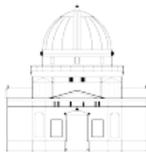
Morgan Fouesneau

morgan.fouesneau@astro.unistra.fr

<http://astro.u-strasbg.fr/~morgan/Data%20Reduction.html>

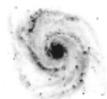


Observatoire astronomique  
de Strasbourg



Observatoire astronomique  
de Strasbourg

dernière modification: 7 février 2011

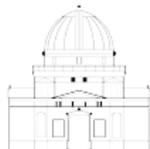


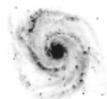
## Avant-Propos

L'astrophysique possède 2 particularités par rapport aux autres sciences physiques :

- **L'expérience est remplacée par l'observation.**
  - pas de choix sur les paramètres du milieu observé,
  - résultats de l'observation souvent résultent de plusieurs effets qu'il faudra séparer.
- **Les informations sont transmises par les photons**
  - distribution sur la sphère céleste : **images**
  - distribution en énergie : **spectres**
  - distribution temporelles : **courbes de lumière**
  - distribution en polarisation

Les instruments modernes ont tendance à mesurer plusieurs de ces qualités de photons simultanément (ex : spectroscopie multi-objets)



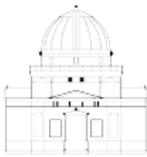


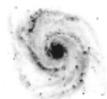
## Avant-Propos

L'astrophysique possède 2 particularités par rapport aux autres sciences physiques :

- **L'expérience est remplacée par l'observation.**
  - pas de choix sur les paramètres du milieu observé,
  - résultats de l'observation souvent résultent de plusieurs effets qu'il faudra séparer.
- **Les informations sont transmises par les photons**
  - distribution sur la sphère céleste : **images**
  - distribution en énergie : **spectres**
  - distribution temporelles : **courbes de lumière**
  - distribution en polarisation

Les instruments modernes ont tendance à mesurer plusieurs de ces qualités de photons simultanément (ex : spectroscopie multi-objets)

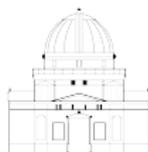


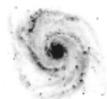


# Instrumentation aux télescopes optiques

## Les principaux détecteurs

- **Plaques photographiques**
  - ☺ grande qualité d'information, durabilité.
  - ☹ traitement demande digitalisation, non linéarité.
- **Caméra CCD**
  - ☺ linéarité, sensibilité, information digitalisée,
  - ☹ lenteur de lecture, petit champ (pour l'instant)
- Caméra Infra-rouge
- Détecteurs sans résolution spatiale (photomultiplicateurs, bolomètres . . .)

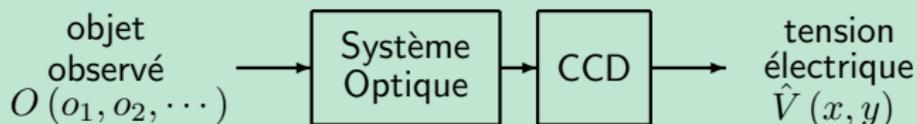




## Observation d'une source

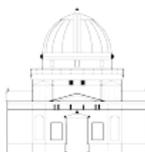
Introduction  
Instrumentation  
Observation & Mesures

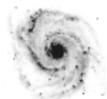
### Image CCD brute d'une observation



Chaque pixel  $(x, y)$  donne une valeur  $\hat{V}$  mesurée :

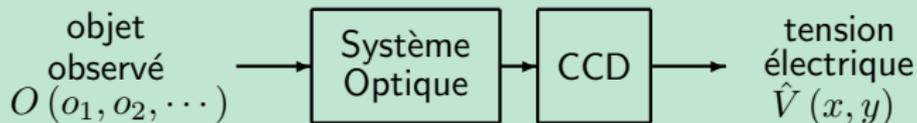
- en “coup”, **count**, le nombre de photons collectés,
- ou en **ADUs**, *analog-digital units* avec un nombre d'électron par ADU, le **gain** (typiquement  $2 - 3e^-/ADU$ )





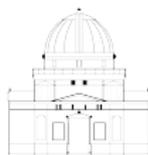
## Observation d'une source

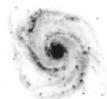
### Image CCD brute d'une observation



Mesure  $\hat{V}$  provenant de plusieurs sources possibles :

- des photons issus de la source observée et du fond du ciel,
- du bruit de lecture, **read-out noise**  
faible tension ajoutée à chaque pixel pendant la lecture du CCD
- du bruit thermique, **dark current**, induit sur chaque pixel pendant l'acquisition





## De l'observation aux mesures physiques

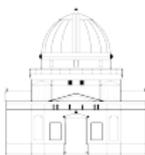
Introduction  
Instrumentation  
Observation & Mesures

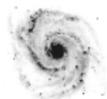
### But du traitement d'image astronomique

transformer une mesure  $\hat{Q}(x_1, x_2, \dots)$  en une grandeur physique  $\hat{M}(y_1, y_2, \dots)$



- $\{x_i\}$ , paramètres instrumentaux (position sur le détecteur, amplitude du signal, temps d'arrivée du photon ...)
- $\{y_i\}$ , des grandeurs astrophysiques (position sur le ciel, longueur d'onde ...)
- $M$  est le flux calibré, la polarisation ...





## De l'observation aux mesures physiques

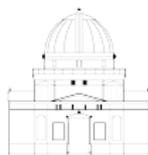
### But du traitement d'image astronomique

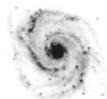
transformer une mesure  $\hat{Q}(x_1, x_2, \dots)$  en une grandeur physique  $\hat{M}(y_1, y_2, \dots)$



### 3 étapes pour réaliser ce processus

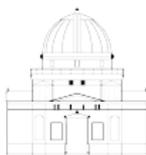
- 1 **Réduction** : Correction des défauts instrumentaux et artefacts
- 2 **Calibration** : Transformation des informations instrumentales en données calibrés
- 3 **Mesure** : extraction des mesures physiques

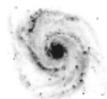




# Plan

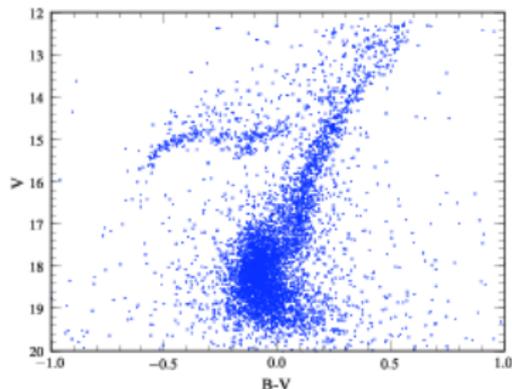
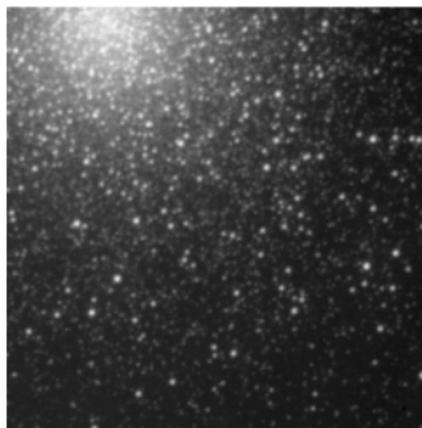
- 1 Les principales étapes de la réduction
- 2 Prise en main des logiciels
  - IRAF
- 3 Réduction de données avec IRAF
  - Réduction d'images
  - Réduction de spectres
- 4 Les bases de la calibration
  - Etalonnage en longueur d'onde
- 5 Conseils généraux et règles d'or
- 6 Utilisation des données réduites
- 7 Résumé
- 8 Appendix
  - Iraf Trick





## Application ?

### Construction du diagramme HR de l'amas Messier 3



*Tempus Fugit...*

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

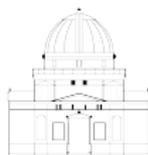
Règles d'or

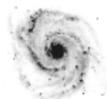
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





# Principe général de la réduction

*“Correction des défauts instrumentaux et artefacts”*

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

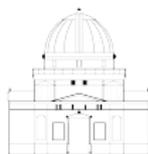
Iraf Trick

## Schéma général



On cherche donc à

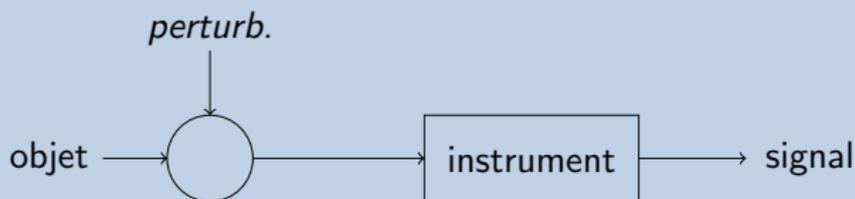
- retirer le **bias**
- corriger de la **réponse de l'instrument** (non idéale).



# Principe général de la réduction

*“Correction des défauts instrumentaux et artefacts”*

## Schéma général



On cherche donc à

- retirer le **biais**
- corriger de la **réponse de l'instrument** (non idéale).

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

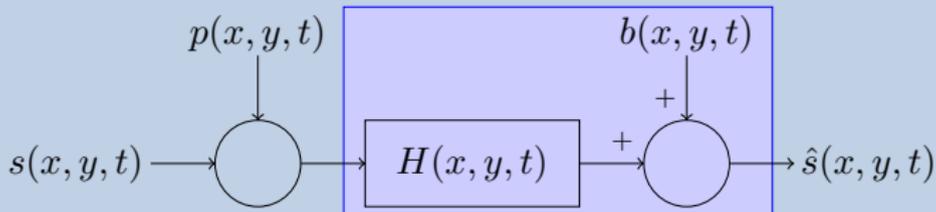
Iraf Trick



# Principe général de la réduction

*“Correction des défauts instrumentaux et artefacts”*

## Schéma général



On cherche donc à

- retirer le **biais**
- corriger de la **réponse de l'instrument** (non idéale).

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

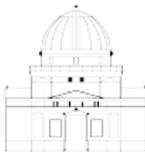
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

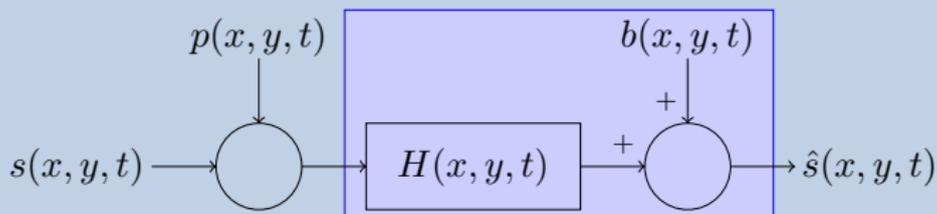
Iraf Trick



# Principe général de la réduction

*“Correction des défauts instrumentaux et artefacts”*

## Schéma général



On cherche donc à

- retirer le **biais**
- corriger de la **réponse de l'instrument** (non idéale).

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur d'onde

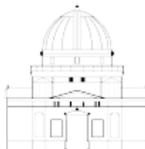
Règles d'or

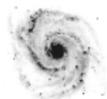
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





# Les étapes de la réduction

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

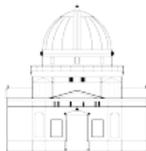
Appendix

Iraf Trick

## Le flat-field

Il s'agit d'obtenir la **réponse instrumentale** (fonction de transfert) du système d'acquisition.

- Corriger les différences de réponse des pixels du CCD
  - conception du CCD
  - usure inhomogène
  - pixels "chaud"
- **Dépend de la longueur d'onde**



# Les étapes de la réduction

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

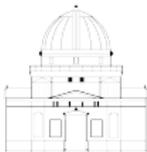
Iraf Trick

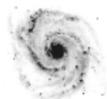
## Le flat-field

Il s'agit d'obtenir la **réponse instrumentale** (fonction de transfert) du système d'acquisition.

## Le Flat-Field en pratique

- Pour **chaque** filtre
- Capture de l'image d'un écran blanc
  - "balance des blancs"
  - éclairé par lumière naturelle ou halogène (Tungstène)
- **Normalisé** :  $FF_{norm} = (FF_{raw} - Bias) / \langle FF_{raw} \rangle$
- Critères pour un flat de qualité
  - uniformité de la source
  - valeur moyenne  $\approx 1/2$  dynamique du capteur
- **'Master-Flat'** médiane de plusieurs (3 – 5) Flat normalisés





# Les étapes de la réduction

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

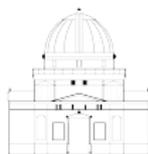
Appendix

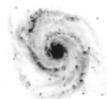
Iraf Trick

## Le biais

Il s'agit d'obtenir l'acquisition d'une image avec un **temps d'exposition nul**

- Corriger de la tension résiduelle d'alimentation du capteur :  
**offset**
- Valide aux fluctuations aléatoires près de cette tension





# Les étapes de la réduction

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

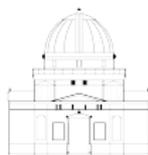
Iraf Trick

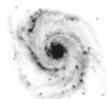
## Le biais

Il s'agit d'obtenir l'acquisition d'une image avec un **temps d'exposition nul**

## L'offset en pratique

- Capture à vide
- la médiane de plusieurs images : **"Master-Bias"**





## Les étapes de la réduction

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

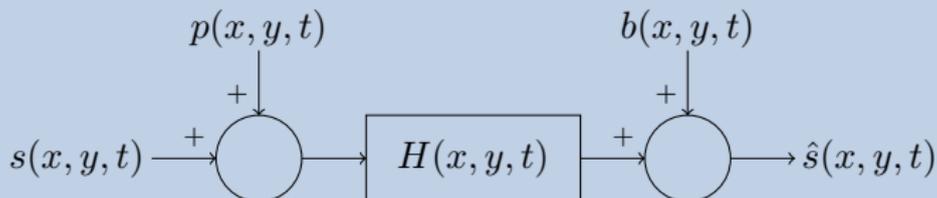
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick

### Schéma général



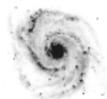
### Opération de réduction

$$\tilde{s}(x, y, t) = H^{-1}(x, y, t) \times (\hat{s}(x, y, t) - b(x, y, t))$$

En pratique :  $\tilde{s}(x, y) = \tilde{H}^{-1}(x, y) \times (\hat{s}(x, y) - \tilde{b}(x, y))$

$$\text{Image}_{red} = (\text{Image}_{brute} - \text{biais}) / \text{flat}_{norm}$$





# IRAF – prise en main (I)

## Configuration préalable :

- Finaliser l'installation / charger les dependances

```
. /scisoft/bin/Setup.bash  
echo ". /scisoft/bin/Setup.bash" >> ~/.bashrc
```

- Création de son profil dans le répertoire de son choix

```
morgan@astromas1:~/irafwork$ mkiraf
```

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

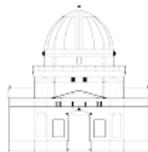
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



## IRAF – prise en main (II)

- Modification du profil

```
~/irafwork$ vi loginuser.cl
# LOGINUSER.CL -- User login file for IRAF
#define personal parameters
    set stdimage=imt512
    set imtype = 'fits'
keep #Very important to have this
```

Pour lancer IRAF :

- se placer **dans le répertoire** du login.cl
- lancer une console **xgterm** : `~/irafwork$ xgterm &`
- lancer IRAF par : `cl`

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

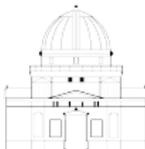
Règles d'or

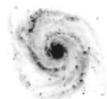
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



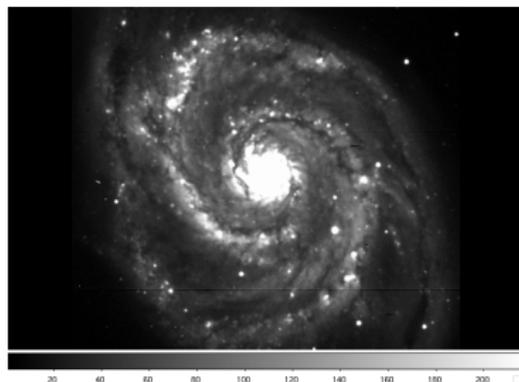


## IRAF : Premières Commandes

- IRAF *condensed Quick* Reference Card

Afficher une image simple donnée par dev\$pix

- image : dev\$pix
- commande : display (help display)



Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

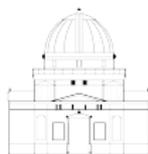
Règles d'or

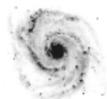
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





## IRAF : Premières Commandes

- IRAF *condensed Quick* Reference Card

Afficher une image simple donnée par dev\$pix

- image : dev\$pix
- commande : display (help display)

ERROR : Cannot open device (node !imtool,,512,512)

⇔ "Can't find ds9!" "Dear user, would you be kind to open a ds9 session to give me the opportunity to complete your request."

Vous devez avoir une et **unique** instance de ds9 pour afficher des images

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

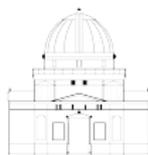
Règles d'or

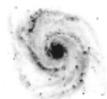
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





## IRAF : Premières Commandes

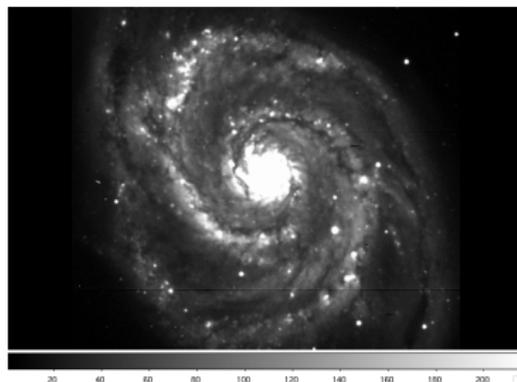
- IRAF *condensed Quick* Reference Card

Afficher une image simple donnée par dev\$pix

- image : dev\$pix
- commande : display (help display)

### Soluçe

- `c1> !ds9 &`  
(si ds9 ne tourne pas encore)
- `c1> display dev$pix 1`



Explorez avec les options de display avec l'aide, ainsi que ds9.

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

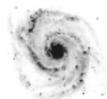
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





# Premières Commandes, “jouer” avec des images

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

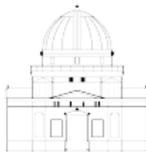
Resume

Appendix

Iraf Trick

Exercices : (utiliser l'aide : `cl> help display`)

- 1 Explorer ds9 : scaling (cursor), colors, ...
- 2 Changer le scaling a partir d'IRAF (options de display).
- 3 Afficher d'autres images et des sous-parties d'images.
- 4 Explorer la commande `plot` pour des images.
- 5 Explorer les commandes `surface` et `contour`.



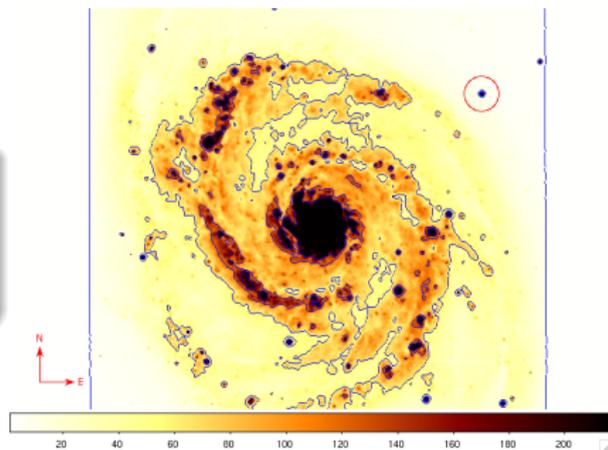
# Premières Commandes, “jouer” avec des images

Exercices : (utiliser l'aide : `cl> help display`)

- ① Explorer ds9 : `scaling` (cursor), `colors`, ...
- ② Changer le scaling a partir d'IRAF (options de `display`).
- ③ Afficher d'autres images et des sous-parties d'images.
- ④ Explorer la commande `plot` pour des images.
- ⑤ Explorer les commandes `surface` et `contour`.

## Explorer ds9

Certaines fonctions de ds9 sont bloquées lorsqu'il est contrôlé par IRAF.



Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur d'onde

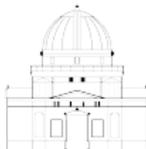
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



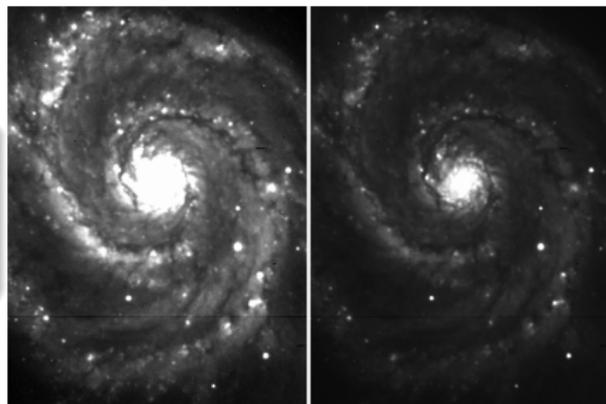
# Premières Commandes, “jouer” avec des images

Exercices : (utiliser l'aide : `cl> help display`)

- ❶ Explorer ds9 : scaling (cursor), colors, ...
- ❷ **Changer le scaling a partir d'IRAF (options de display).**
- ❸ Afficher d'autres images et des sous-parties d'images.
- ❹ Explorer la commande `plot` pour des images.
- ❺ Explorer les commandes `surface` et `contour`.

## Scaling et display

```
cl> display dev$pix 1
cl> display dev$pix 2 zrange-
zscale- z1=0 z2=900
```



Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

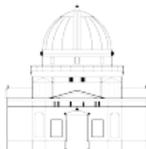
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



# Premières Commandes, “jouer” avec des images

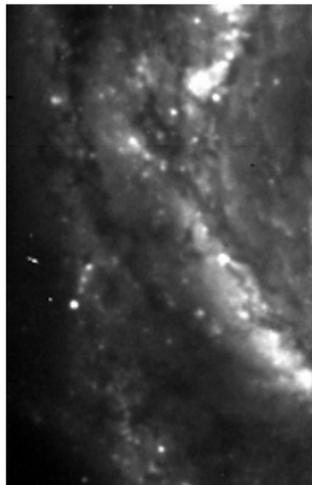
Exercices : (utiliser l'aide : `cl> help display`)

- ① Explorer ds9 : scaling (cursor), colors, ...
- ② Changer le scaling a partir d'IRAF (options de display).
- ③ **Afficher d'autres images et des sous-parties d'images.**
- ④ Explorer la commande `plot` pour des images.
- ⑤ Explorer les commandes `surface` et `contour`.

Afficher des sous-parties d'images

```
cl> display dev$pix[20:200,120:400] 2
z1=40. z2=340.8187
```

attention : pas d'espaces dans les indices !



Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

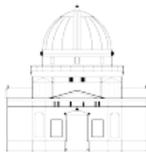
Règles d'or

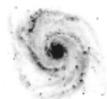
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





# Premières Commandes, “jouer” avec des images

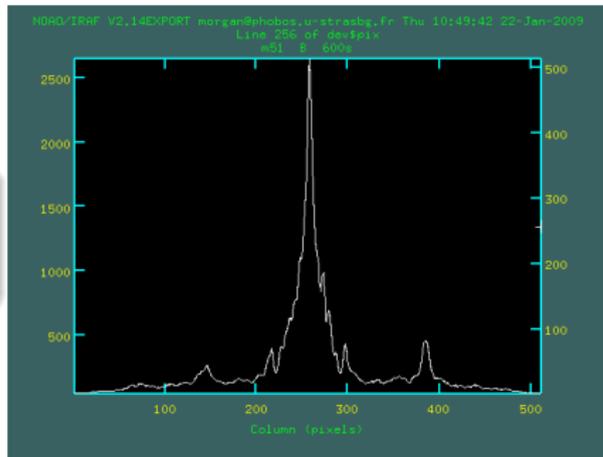
Exercices : (utiliser l'aide : `cl> help display`)

- 1 Explorer ds9 : scaling (cursor), colors, ...
- 2 Changer le scaling a partir d'IRAF (options de display).
- 3 Afficher d'autres images et des sous-parties d'images.
- 4 Explorer la commande `plot` pour des images.
- 5 Explorer les commandes surface et contour.

## Explorer plot

```
cl> implot dev$pix
```

Erreur commune : pas de `xgterm`



Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

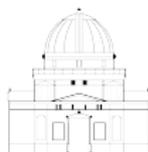
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

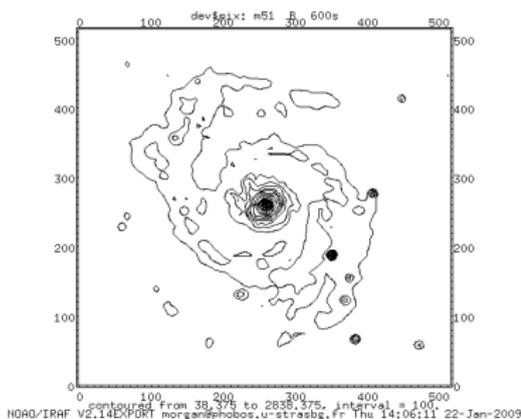
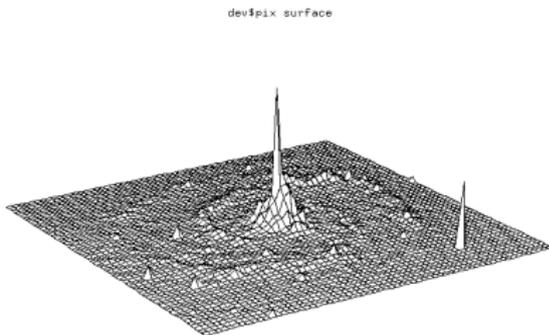
Iraf Trick



# Premières Commandes, "jouer" avec des images

Exercices : (utiliser l'aide : `cl> help display`)

- ❶ Explorer ds9 : scaling (cursor), colors, ...
- ❷ Changer le scaling a partir d'IRAF (options de display).
- ❸ Afficher d'autres images et des sous-parties d'images.
- ❹ Explorer la commande `plot` pour des images.
- ❺ Explorer les commandes `surface` et `contour`.



NOAO/IRAF V2.14E/PORT norgand@hobos.u-strasbg.fr Thu 14:06:11 22-Jan-2009

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

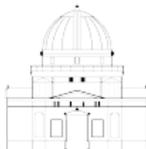
Règles d'or

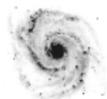
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick

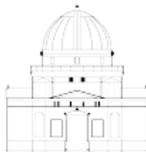
## Avant de commencer

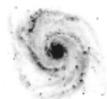
- Récupérer une copie des données se trouvant sur : `astromater` dans l'archive  
~morgan/COURS\_REDUCTION/dataCours.tar.gz
- pour décompresser les données : `tar xzf dataCours.tar.gz`

### Petit conseil

Ouvrir un fichier "log" dans lequel vous conserverez les commandes utilisées.

Ceci pourra par la suite servir de "script" pour les prochaines réductions.





# Réduction d'image

## 1 Creation du **Master Bias**

→ faire la médiane des bias/offsets

## 2 Creation du **Master Flat**

## 3 Réduction des images

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

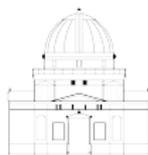
Règles d'or

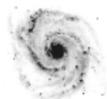
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





# Réduction d'image

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick

## 1 Creation du **Master Bias**

- faire la médiane des biais/offsets

## 2 Creation du **Master Flat**

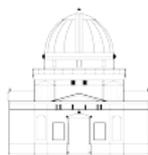
Iraf ne peut pas tout faire en une operation.

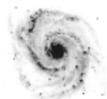
- soustraire le biais à chaque flat

- diviser par la moyenne

- Combiner les images par une médiane même  $\lambda$  !!

## 3 Réduction des images





# Réduction d'image

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick

## 1 Creation du **Master Bias**

- faire la médiane des biais/offsets

## 2 Creation du **Master Flat**

Iraf ne peut pas tout faire en une operation.

- soustraire le biais à chaque flat

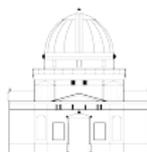
- diviser par la moyenne

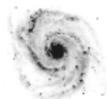
- Combiner les images par une médiane même  $\lambda$  !!

## 3 Réduction des images

- Retirer le master-bias

- Diviser par le master-flat même  $\lambda$  !!





# Réduction d'image

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

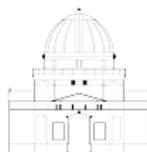
Iraf Trick

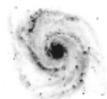
- 1 Creation du **Master Bias**
  - faire la médiane des biais/offsets

- 2 Creation du **Master Flat**

Iraf ne peut pas tout faire en une operation.

- soustraire le biais à chaque flat
  - diviser par la moyenne
  - Combiner les images par une médiane même  $\lambda$  !!
- 3 Réduction des images
    - Retirer le master-bias
    - Diviser par le master-flat même  $\lambda$  !!





# Réduction d'image

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick

## 1 Creation du **Master Bias**

- faire la médiane des biais/offsets

```
c1> imcombine offset/* master_bias combine='median'
```

## 2 Creation du **Master Flat**

Iraf ne peut pas tout faire en une operation.

- soustraire le biais à chaque flat

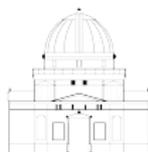
- diviser par la moyenne

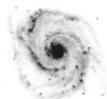
- Combiner les images par une médiane **même  $\lambda$ !!**

## 3 Réduction des images

- Retirer le master-bias

- Diviser par le master-flat **même  $\lambda$ !!**





# Réduction d'image

## 1 Creation du **Master Bias**

- faire la médiane des biais/offsets

```
c1> imcombine offset/* master_bias combine='median'
```

## 2 Creation du **Master Flat**

Iraf ne peut pas tout faire en une operation.

- soustraire le biais à chaque flat

- diviser par la moyenne

- Combiner les images par une médiane **même  $\lambda$ !!**

## 3 Réduction des images

- Retirer le master-bias

- Diviser par le master-flat même  $\lambda$ !!

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur d'onde

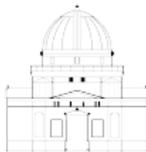
Règles d'or

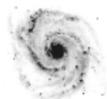
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





# Réduction d'image

## 1 Creation du **Master Bias**

- faire la médiane des biais/offsets

```
cl> imcombine offset/* master_bias combine='median'
```

## 2 Creation du **Master Flat**

Iraf ne peut pas tout faire en une operation.

- soustraire le biais à chaque flat

```
cl> imarith flats/* - master_bias flats/*//tmp
```

```
ou cl> imarith( 'flats/*','-', 'master_bias','flats/*//tmp' )
```

- diviser par la moyenne

- Combiner les images par une médiane **même  $\lambda$ !!**

## 3 Réduction des images

- Retirer le master-bias

- Diviser par le master-flat **même  $\lambda$ !!**

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

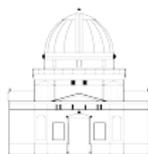
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



# Réduction d'image

## 1 Creation du **Master Bias**

- faire la médiane des biais/offsets

```
c1> imcombine offset/* master_bias combine='median'
```

## 2 Creation du **Master Flat**

Iraf ne peut pas tout faire en une operation.

- soustraire le biais à chaque flat

```
c1> imarith flats/* - master_bias flats/*/tmp
```

```
ou c1> imarith( 'flats/*','-', 'master_bias','flats/*/tmp' )
```

- diviser par la moyenne

```
c1> imstat flats/*
```

```
c1> imarith flats/kr930044tmp / 32427. flats/kr930044n
```

- Combiner les images par une médiane **même  $\lambda$ !!**

## 3 Réduction des images

- Retirer le master-bias

- Diviser par le master-flat **même  $\lambda$ !!**

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

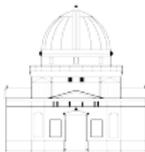
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



# Réduction d'image

## 1 Creation du **Master Bias**

- faire la médiane des biais/offsets

```
c1> imcombine offset/* master_bias combine='median'
```

## 2 Creation du **Master Flat**

Iraf ne peut pas tout faire en une operation.

- soustraire le biais à chaque flat

```
c1> imarith flats/* - master_bias flats/*/tmp
```

```
ou c1> imarith( 'flats/*','-', 'master_bias','flats/*/''tmp' )
```

- diviser par la moyenne

```
c1> imstat flats/*
```

```
c1> imarith flats/kr930044tmp / 32427. flats/kr930044n
```

- Combiner les images par une médiane **même  $\lambda$ !!**

```
c1> imcombine flats/*n master_flat combine='median'
```

## 3 Réduction des images

- Retirer le master-bias

- Diviser par le master-flat **même  $\lambda$ !!**

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur d'onde

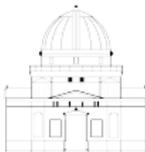
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



# Réduction d'image

## 1 Creation du **Master Bias**

- faire la médiane des biais/offsets

```
c1> imcombine offset/* master_bias combine='median'
```

## 2 Creation du **Master Flat**

Iraf ne peut pas tout faire en une operation.

- soustraire le biais à chaque flat

```
c1> imarith flats/* - master_bias flats/*//tmp
```

```
ou c1> imarith( 'flats/*', '- ', 'master_bias', 'flats/*//tmp' )
```

- diviser par la moyenne

```
c1> imstat flats/*
```

```
c1> imarith flats/kr930044tmp / 32427. flats/kr930044n
```

- Combiner les images par une médiane **même  $\lambda$ !!**

```
c1> imcombine flats/*n master_flat combine='median'
```

## 3 Réduction des images

- Retirer le master-bias

- Diviser par le master-flat **même  $\lambda$ !!**

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

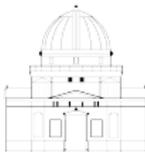
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



# Réduction d'image

## 1 Creation du **Master Bias**

- faire la médiane des biais/offsets

```
cl> imcombine offset/* master_bias combine='median'
```

## 2 Creation du **Master Flat**

Iraf ne peut pas tout faire en une operation.

- soustraire le biais à chaque flat

```
cl> imarith flats/* - master_bias flats/*/tmp
```

```
ou cl> imarith( 'flats/*','-', 'master_bias', 'flats/*/''tmp' )
```

- diviser par la moyenne

```
cl> imstat flats/*
```

```
cl> imarith flats/kr930044tmp / 32427. flats/kr930044n
```

- Combiner les images par une médiane **même λ!!**

```
cl> imcombine flats/*n master_flat combine='median'
```

## 3 Réduction des images

- Retirer le master-bias

```
cl> imarith ngc7006/* - master_bias ngc7006/*/tmp
```

- Diviser par le master-flat **même λ!!**

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

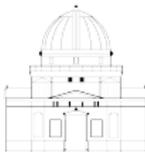
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



# Réduction d'image

## 1 Creation du **Master Bias**

- faire la médiane des biais/offsets

```
cl> imcombine offset/* master_bias combine='median'
```

## 2 Creation du **Master Flat**

Iraf ne peut pas tout faire en une operation.

- soustraire le biais à chaque flat

```
cl> imarith flats/* - master_bias flats/*/tmp
```

```
ou cl> imarith( 'flats/*', '- ', 'master_bias', 'flats/*/''tmp' )
```

- diviser par la moyenne

```
cl> imstat flats/*
```

```
cl> imarith flats/kr930044tmp / 32427. flats/kr930044n
```

- Combiner les images par une médiane **même λ!!**

```
cl> imcombine flats/*n master_flat combine='median'
```

## 3 Réduction des images

- Retirer le master-bias

```
cl> imarith ngc7006/* - master_bias ngc7006/*/tmp
```

- Diviser par le master-flat **même λ!!**

```
cl> imarith ngc7006/*tmp / master_flat ngc7006/*/red
```

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

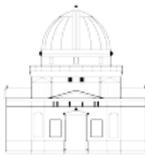
Règles d'or

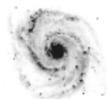
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





## Résultats : Offset

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

**Réduction d'images**

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

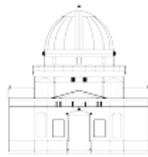
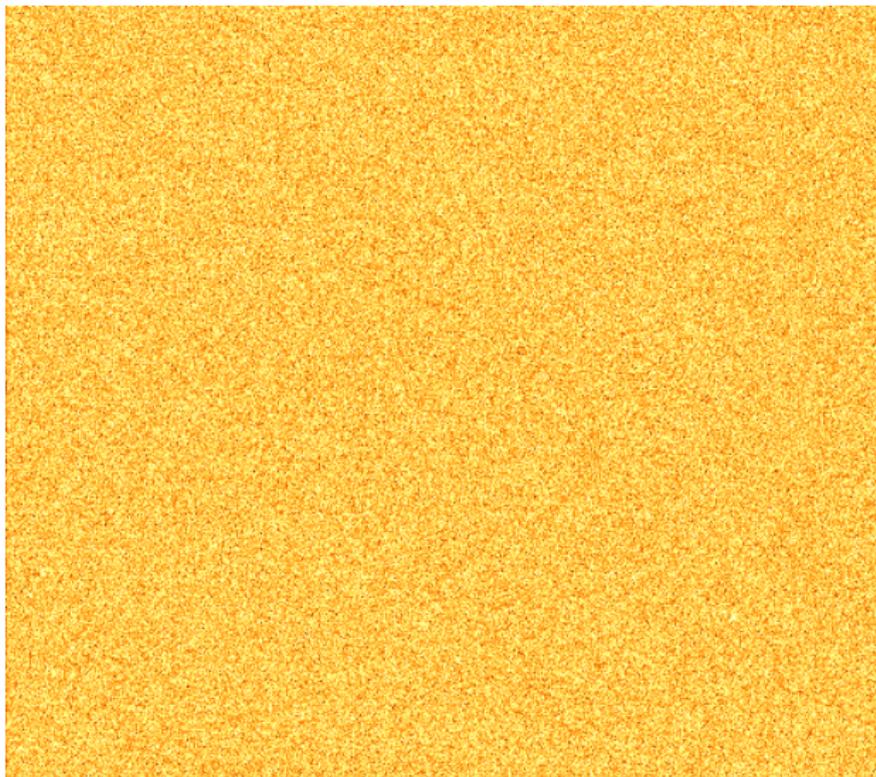
Règles d'or

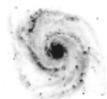
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





## Résultats : Flats

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

**Réduction d'images**

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

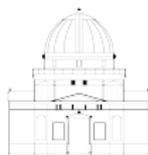
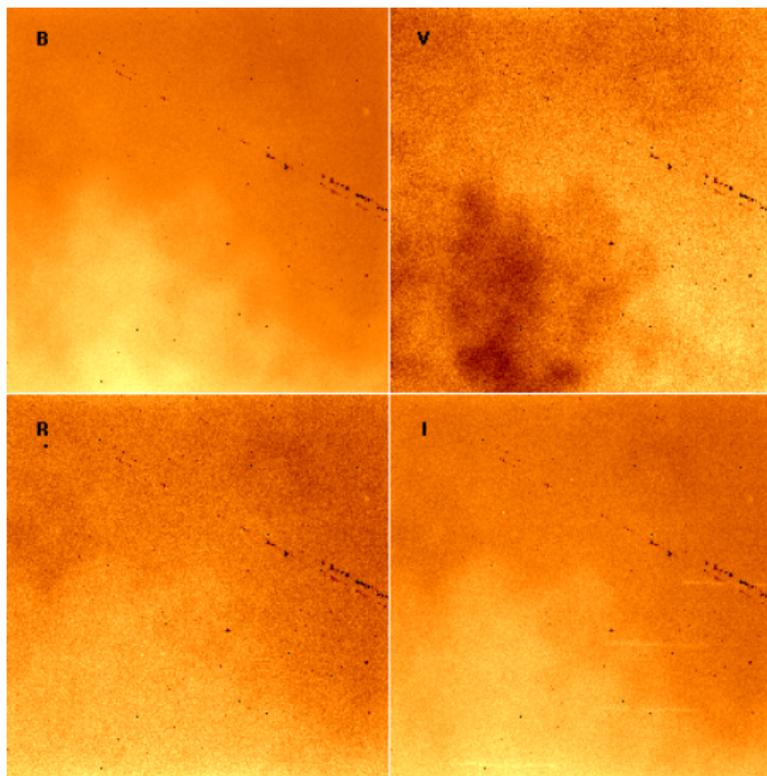
Règles d'or

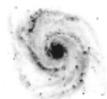
Mesures

Resume

Appendix

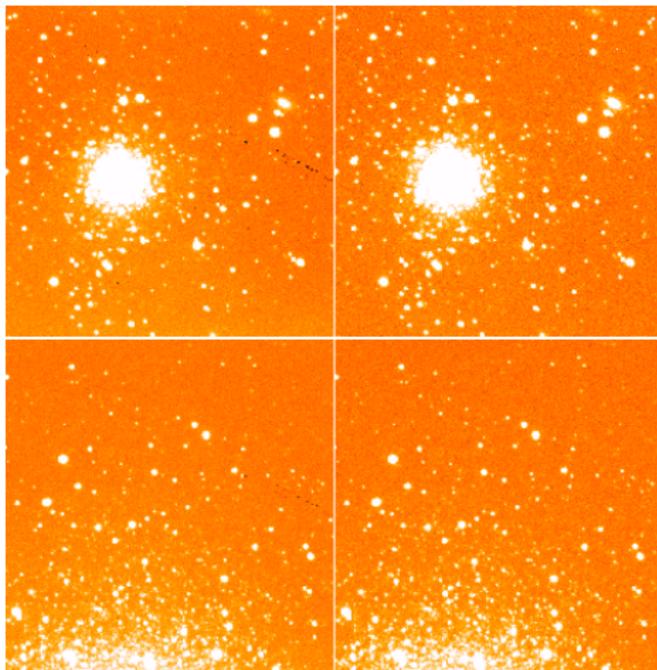
Iraf Trick





## Exercices

- Faire la réduction des images de NGC7002 et M92
- Comparer les originales et les images réduites (*blink in ds9*)



Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

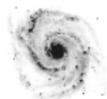
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick

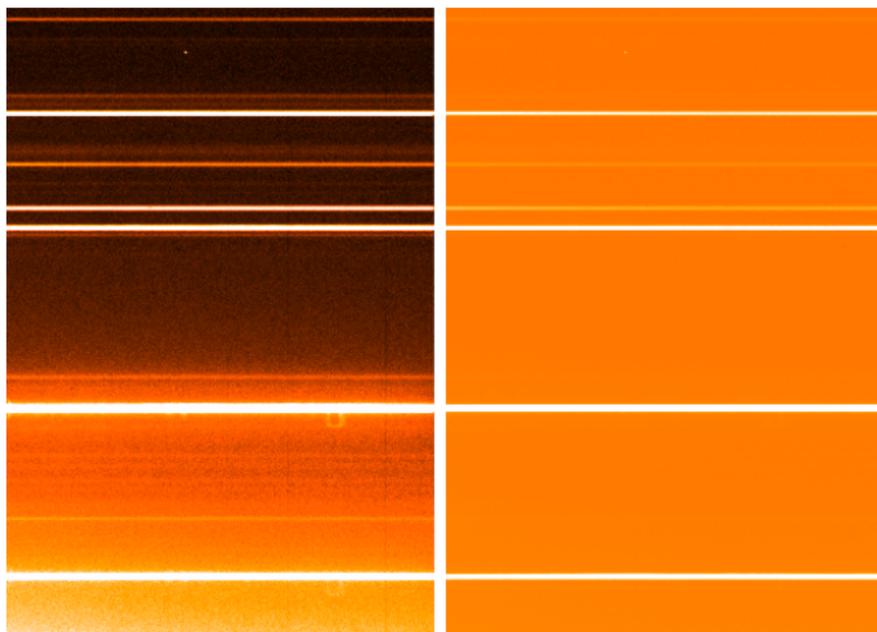




## Réduction de spectres

Des spectres sont des images et suivent donc le même principe

- Exercice : Réduire les spectres d'Helium



Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

**Réduction de spectres**

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

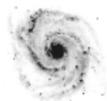
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





# Générer un spectre de référence

## Principe

Etablir une relation entre les coordonnées  $x$  de chaque rangée  $y$  et la longueur d'onde  $\lambda$

$$\lambda(x, y) = A_0(y) + A_1(y).x + A_2(y).x^2 + \dots$$

- Correction géométrique
- Calculée à partir d'une image de calibration

## Image de calibration

Image (réduite) d'une lampe  $He$  par une fente

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

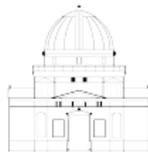
Règles d'or

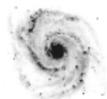
Mesures

Resume

Appendix

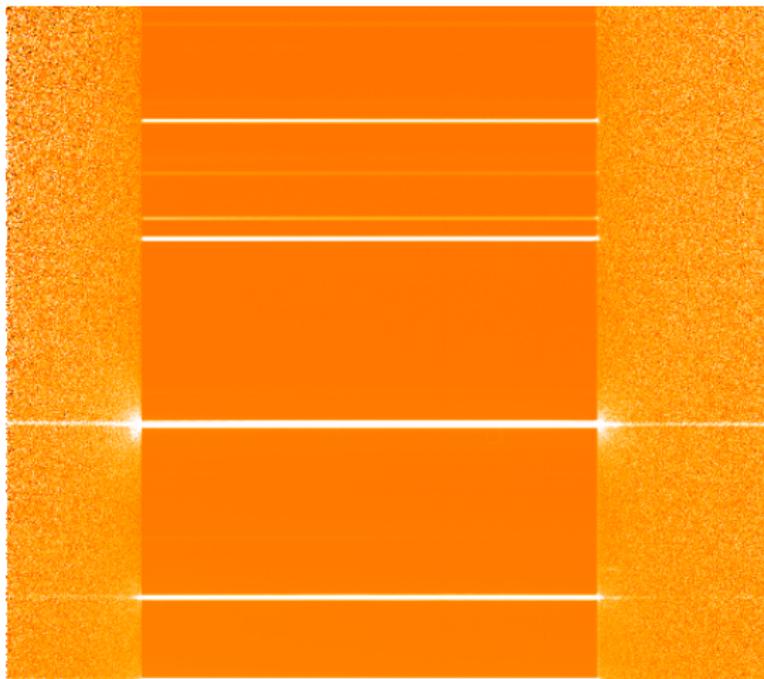
Iraf Trick





# Etalonnage en longueur d'onde

- `master_he` est supposée être l'image réduite



Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

**Etalonnage en longueur  
d'onde**

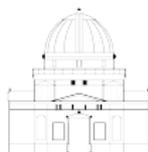
Règles d'or

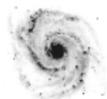
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





# Etalonnage en longueur d'onde

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

**Etalonnage en longueur  
d'onde**

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick

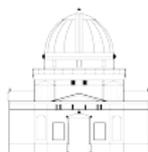
Etapes :

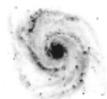
① Tourner l'image pour avoir un spectre avec  $\lambda$  en abscisse

```
cl> rotate master_he master_he_rot 90
```

② déterminer la zone utile du spectre : utiliser `implot`

③ utiliser `identify` pour identifier les raies d'Helium sur une ligne





# Etalonnage en longueur d'onde

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

**Etalonnage en longueur  
d'onde**

Règles d'or

Mesures

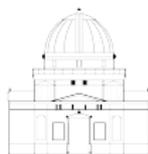
Resume

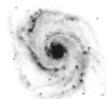
Appendix

Iraf Trick

Etapes :

- 1 Tourner l'image pour avoir un spectre avec  $\lambda$  en abscisse
- 2 déterminer la zone utile du spectre : utiliser `implot`
- 3 utiliser `identify` pour identifier les raies d'Helium sur une ligne





# Etalonnage en longueur d'onde

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

**Etalonnage en longueur  
d'onde**

Règles d'or

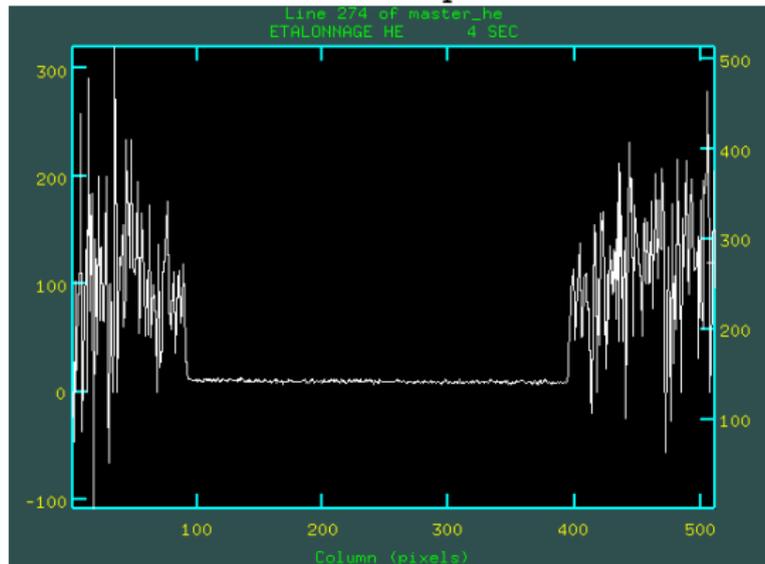
Mesures

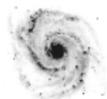
Resume

Appendix

Iraf Trick

## Résultat implot





# Etalonnage en longueur d'onde

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

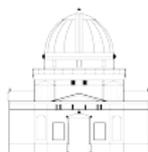
Appendix

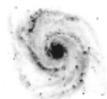
Iraf Trick

Etapes :

- 1 Tourner l'image pour avoir un spectre avec  $\lambda$  en abscisse
- 2 déterminer la zone utile du spectre : utiliser `implot`  
Couper le spectre pour n'avoir que la partie intéressante avec peu de bruit, et observer.  

```
cl> display master_he_rot[* ,100:390] 1
```
- 3 utiliser `identify` pour identifier les raies d'Helium sur une ligne





# Etalonnage en longueur d'onde

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

**Etalonnage en longueur  
d'onde**

Règles d'or

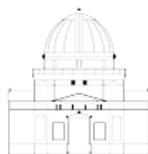
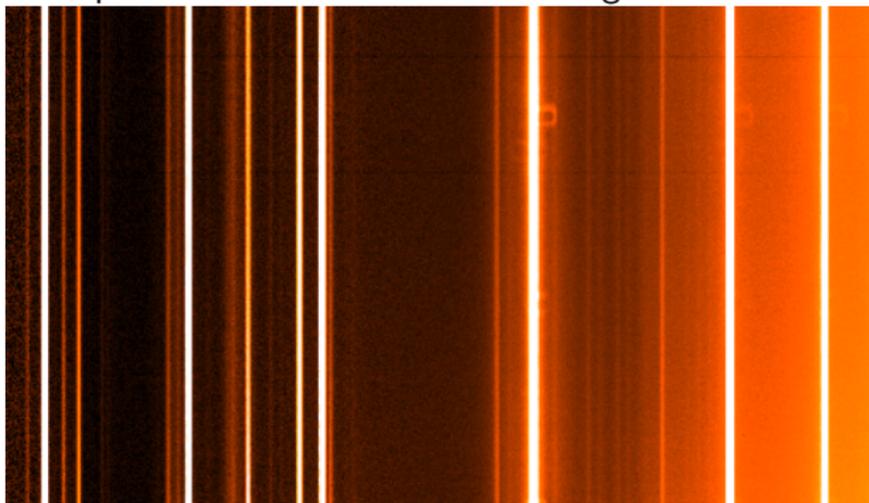
Mesures

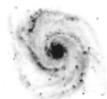
Resume

Appendix

Iraf Trick

Spectre tourné et restreint à la region d'intêret





# Etalonnage en longueur d'onde

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

**Etalonnage en longueur  
d'onde**

Règles d'or

Mesures

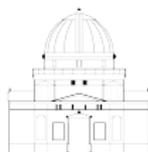
Resume

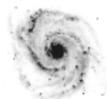
Appendix

Iraf Trick

Etapes :

- 1 Tourner l'image pour avoir un spectre avec  $\lambda$  en abscisse
- 2 déterminer la zone utile du spectre : utiliser `implot`
- 3 utiliser `identify` pour identifier les raies d'Helium sur une ligne

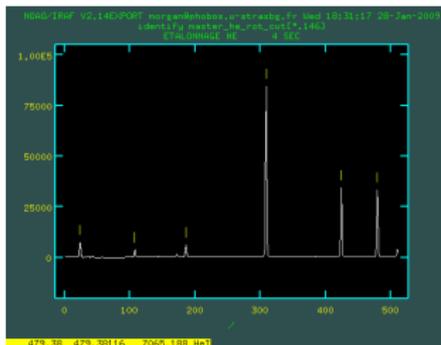




# Etalonnage en longueur d'onde

## Etapes :

- 1 Tourner l'image pour avoir un spectre avec  $\lambda$  en abscisse
- 2 déterminer la zone utile du spectre : utiliser `implot`
- 3 utiliser `identify` pour identifier les raies d'Helium sur une ligne



```
cl> identify master_he_rot_cut
?      # aide du mode en cours
m      # Affecter les  $\lambda$  aux 6 pics
```

Liste les  $\lambda$  associés (en Angstroms) :

3888.646,	4471.477,	5015.675,
5875.618,	6678.149,	7065.188

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

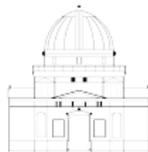
Règles d'or

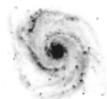
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick

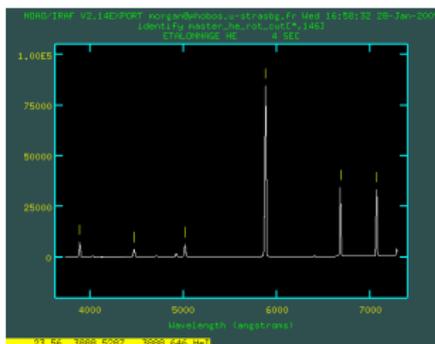




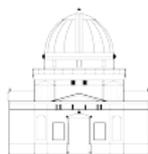
# Etalonnage en longueur d'onde

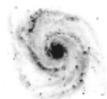
## Etapes :

- 1 Tourner l'image pour avoir un spectre avec  $\lambda$  en abscisse
- 2 déterminer la zone utile du spectre : utiliser `implot`
- 3 utiliser `identify` pour identifier les raies d'Helium sur une ligne



```
cl> identify master_he_rot_cut
?      # aide du mode en cours
m      # Affecter les  $\lambda$  aux 6 pics
f      # fitter les lignes
:func cheby # changer la fonction de fit
:order 3   # changer l'ordre
f      # refitter
l      # regarder les residus
q      # retourner au spectre
q      # sortir
```



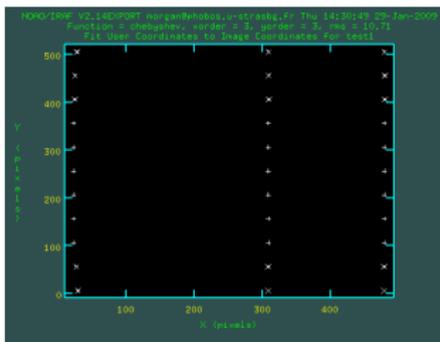


# Etalonnage en longueur d'onde

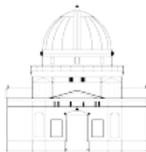
## Etapes :

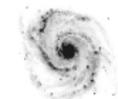
- ① Tourner l'image pour avoir un spectre avec  $\lambda$  en abscisse
- ② déterminer la zone utile du spectre : utiliser `implot`
- ③ utiliser `identify` pour identifier les raies d'Helium sur une ligne
- ④ **Extension de la calibration à la 2ème dimension avec `fitcoords`**

```
cl> fitcoords master_he_rot fitname='' xorder=3 yorder=3
```



```
?      # aide
y      # modifier l'axe des ordonnées
y      # sélectionner l'axe y de l'image
r      # replot
d      # suppression de points
y      # suppression des lignes non utiles
f      # fitter les paramètres
q      # quitter
```





# Etalonnage en longueur d'onde

## Etapes :

- 1 Tourner l'image pour avoir un spectre avec  $\lambda$  en abscisse
- 2 déterminer la zone utile du spectre : utiliser `implot`
- 3 utiliser `identify` pour identifier les raies d'Helium sur une ligne
- 4 Extension de la calibration à la 2ème dimension avec `fitcoords`
- 5 **Affecter la calibration au spectre avec `transform`**  
`cl> transform master_he_rot final_he master_he_rot`
- 6 Observer le résultat avec `splot`

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images  
Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

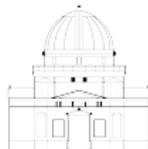
Règles d'or

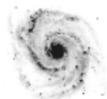
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





# Etalonnage en longueur d'onde

## Etapes :

- 1 Tourner l'image pour avoir un spectre avec  $\lambda$  en abscisse
- 2 déterminer la zone utile du spectre : utiliser `implot`
- 3 utiliser `identify` pour identifier les raies d'Helium sur une ligne
- 4 Extension de la calibration à la 2ème dimension avec `fitcoords`
- 5 Affecter la calibration au spectre avec `transform`
- 6 Observer le résultat avec `splot`  
? # aide  
k # fitter les raies et comparer

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

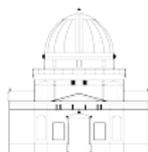
Règles d'or

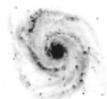
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





## Appliquer la calibration aux objets

### Remarque importante

Toutes les transformations géométriques (rotation, crop...) sur le spectre de référence doivent être appliquées aux autres spectres avant d'appliquer la calibration.

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

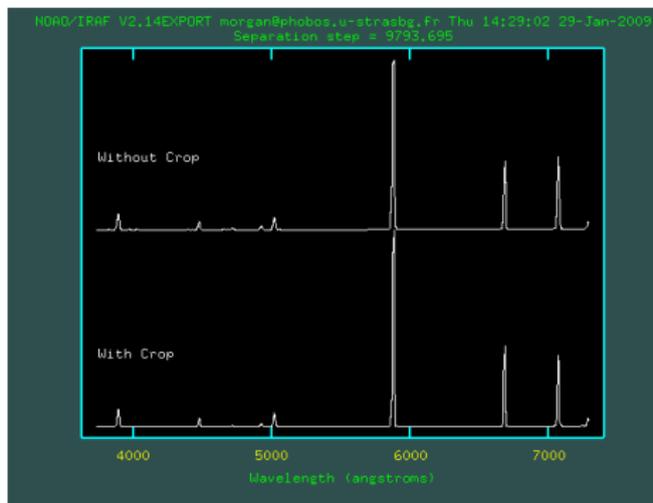
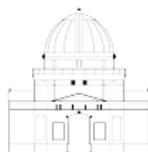
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



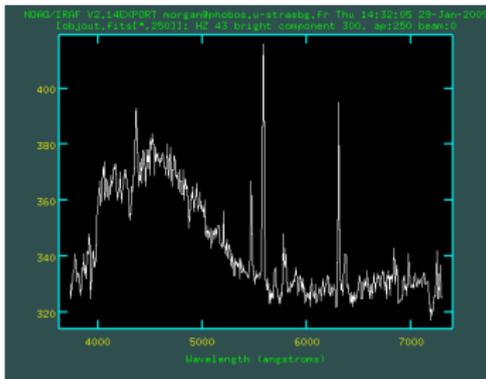
## Appliquer la calibration aux objets

### Remarque importante

Toutes les transformations géométriques (rotation, crop...) sur le spectre de référence doivent être appliquées aux autres spectres avant d'appliquer la calibration.

- ① Appliquer la même rotation
- ② Appliquer la transformation précédente :

```
cl> transform obj obj_out master_he_rot
```



Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



## Conseils généraux et règles d'or

Au cours de la réduction et de la calibration :

- Conserver des noms de fichiers (et arborescence) **explicités** et **cohérents**
- Toujours avoir le nom de l'objet, le filtre et l'exposition dans le header [ccd- Si possible prendre les caractéristiques de l'instrument/capteur : *dynamique d'entrée, taille (sur ciel)*, **read-out noise, gain**, ...  
Les ajouter au header si besoin [hedit]

**priorité** : avoir des fichiers sources exploitables par n'importe qui.

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

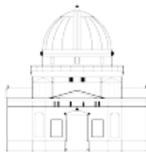
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



## Introduction à la réduction de données en astronomie

└─ Conseils généraux et règles d'or

└─ Conseils généraux et règles d'or

## Conseils généraux et règles d'or

Au cours de la réduction et de la calibration :

- Conserver des noms de fichiers (et arborescence) **explicités** et cohérents
- Toujours avoir le nom de l'objet, le filtre et l'exposition dans le header [ccidbdtz]
- Si possible prendre les caractéristiques de l'instrument/capteur : dynamique d'entrée, taille (sur ciel), read-out noise, gain...  
Les ajouter au header si connus [bndtz]

**priorité** : avoir des fichiers sources exploitables par n'importe qui.

- Le gain et le read-out noise peuvent être calculé à partir de deux flats et deux offsets.
- le gain est donné par :

$$G(e^-/ADU) = \frac{\overline{ff1} + \overline{ff2} - (\overline{b1} + \overline{b2})}{\sigma_{f1-f2}^2 - \sigma_{b1-b2}^2}$$

- Le bruit de lecture par :

$$N = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sigma_{b1-b2} \times G$$



## IRAF – Astuce

Devoir toujours revenir a son IRAF\_HOME est lourd surtout lorsqu'on doit ensuite revenir à l'adresse précédente.

*Origine : avoir un login.cl par projet.*

- générer 2 scripts : `cdstart.cl` et `iraf_run`
- modifier le `loginuser.cl` en conséquence
- ajouter un alias dans son 'SHELL' .rc

```
#!/bin/bash
# IRAF_RUN -- Iraf calling script
echo 'pwd' > ~/bin/iraf/.pwd
cd ~/bin/iraf/;xgterm -T IRAF@'hostname' -e cl &
~/bin/ds9 & # you can add everything you need here

# In your BASH.RC Aliases section
alias iraf="~/bin/iraf_run"
```

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Étalonnage en longueur  
d'onde

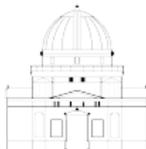
Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick



## CDSTART.CL

```
# CDSTART_NEW.CL - Startup procedure to
                    return to the working directory

procedure cdstart_new ()
string input {".pwd"}
string *list
begin
    struct line
    list = ".pwd"
    print ("Current Working Directory is:")
    while ( fscan(list, line) != EOF ) {
        printf ("%s\n", line)
    }
    cd (line)
end
```

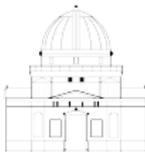
Réduction

Starting  
IRAFIRAF CCDred  
Réduction d'images  
Réduction de spectresCalibration  
Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix  
Iraf Trick

# LOGINUSER.CL

```
# LOGINUSER.CL -- User login file for IRAF

#load personal packages

#define personal parameters
    set stdimage=imt1024
    set imtype = 'fits'

#Configure the Iraf start from any directory
task cdstart = "cdstart.cl"
cdstart

#define useful scripts

keep
```

Reduction

Starting  
IRAF

IRAF CCDred  
Réduction d'images  
Réduction de spectres

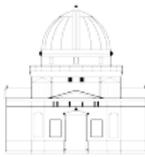
Calibration  
Étalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix  
Iraf Trick



# Scripting : createMasterFlat.cl

```
procedure createMasterFlat(filelist, masterbias)

    string filelist, masterbias
    struct *filenames

begin
    string image
    real mean
    filenames = filelist
    if (access("templist"))
        delete("templist",verify-)
    if (access("normlist"))
        delete("normlist",verify-)

    imstat("@//filelist,fields="image,mean",>"templist")
    filelist = "templist"
    if (!access(filelist))
    {
        print("error- could not access templist")
        exit
    }
    filenames=filelist
```

Réduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

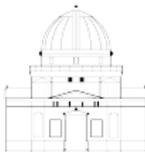
Règles d'or

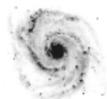
Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick





## Scripting : createMasterFlat.cl II

Reduction

Starting

IRAF

IRAF CCDred

Réduction d'images

Réduction de spectres

Calibration

Etalonnage en longueur  
d'onde

Règles d'or

Mesures

Resume

Appendix

Iraf Trick

```
if (fscan(filenamees,exfile)==EOF)
{
    print("Error reading templist")
    exit
}
while (fscan(filenamees,image,mean)!=EOF)
{
    print("Now processing file: ",image," mean:",mean)
    print(image,mean,>>"normlist")
    imarith(image, "-",masterbias,image//"b")
    imarith(image//"b", "/", mean, image//"norm")
}

print("Now Creating MasterFlat:")
incombine("@normlist", "master_flat", combine='median')

delete("templist")
delete("normlist")

end
```

